

УДК 574.24

Г. И. Ширяев, Г. Г. Борисова, М. Г. Малева, О. В. Воропаева

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,  
schiriaev.grisha@yandex.ru

## ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКАЗЫВАЕТ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА *PHRAGMITES AUSTRALIS*

**Ключевые слова:** тростник обыкновенный, тяжелые металлы, мезоструктура, фотосинтетические пигменты, адаптация.

Техногенное загрязнение является актуальной проблемой для Уральского региона из-за активной деятельности горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Одной из наиболее загрязненных территорий на Урале, вследствие более чем вековой деятельности медеплавильного комбината АО «Карабашмедь» (КМК), является зона вокруг г. Карабаша. Значительные количества поллютантов, включая тяжелые металлы (ТМ), попадают в водотоки: реку Сак-Элга, ручьи Рыжий и Ольховка [1]. Важную роль в адаптации к техногенному загрязнению у растений играют структурные изменения параметров фотосинтетического аппарата, которые обеспечивают поддержание максимальной эффективности процесса фотосинтеза. Объектом исследования был *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (тростник обыкновенный) – многолетнее, космополитное, травянистое, прибрежно-водное растение. Для данного гелофита характерны значительная биомасса, быстрый рост и преимущественно вегетативное размножение [2]. Как и другие виды прибрежно-водных растений, он активно участвует в естественных процессах очистки поверхностных вод, в том числе от ТМ [3]

Целью данного исследования было изучение накопления тяжелых металлов у *P. australis* и адаптивных изменений структуры его фотосинтетического аппарата при экстремальном техногенном воздействии.

Пробы поверхностных вод, седиментов и растительный материал отбирали на территории Челябинской области в июле 2016–2018 г. Исследования проводили на пяти участках: участок 1 – оз. Иртяш, «условный фон»; участок 2 – руч. Ольховка, 5 км от КМК; участок 3 – р. Сак-Элга, 2,6 км ниже КМК; участок 4 – р. Сак-Элга, 5,6 км ниже КМК, после впадения руч. Рыжего; участок 5 – руч. Рыжий, 1,6 км от КМК. Содержание ТМ в воде, седиментах и растительном материале определяли при помощи атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой после мокрого озоления 70% HNO<sub>3</sub> (осч). В качестве показателя загрязнения использовали суммарный индекс токсической нагрузки (*Si*) [4]:  $Si = (1/n) \sum (Ci/C_{фон})$ , где *Ci* – концентрация металла в воде/седиментах загрязненного участка, *C<sub>фон</sub>* – концентрация металла в воде/седиментах фонового участка, *n* – число исследованных металлов. Коэффициент транслокации (КТ) рассчитывали, как отношение содержания металла в листьях к его содержанию в подземных органах (корневище и корни). Оценку структурных параметров листа проводили с использованием специализированной программы MesoPlant (ООО «СИАМС», Россия). Содержание фотосинтетических пигментов измеряли спектрофотометрически в 80% ацетоне при длинах волн 470, 624, 647 и 663 нм и рассчитывали согласно Lichtenthaler [5].

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в седиментах определяли высевом на твердую питательную среду Лурия-Бертани (LB) и выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 г сухого веса.

Расчет  $Si$  по содержанию девяти ТМ (Cu, Ni, Zn, Mn, Pb, Cd, Hg, Co и Fe) показал значительное загрязнение среды на участках, располагающихся в непосредственной близости от КМК. Наибольшее техногенное воздействие испытывал участок 5, где  $Si$  для воды равнялся 706, а для седиментов – 34. Также происходило закисление поверхностных вод: величина pH снижалась от 6,9 на фоновом участке до 3,3 – на участке 5. Оценка КМАФАнМ в субстрате исследуемых участков показала, что оно варьировало от  $0,5 \times 10^4$  до  $1,8 \times 10^5$  КОЕ/г сухого веса. Содержание металлов в подземных и надземных органах *P. australis* на этих участках было существенно выше, чем на фоновом. Расчет КТ свидетельствует о том, что основная часть ТМ накапливается преимущественно в подземных органах гелофита, исключение составлял Mn. На загрязненных участках у тростника была выше толщина эпидермиса (до 25%). Благодаря этому происходило усиление его барьерной функции, играющей особую роль в условиях аэротехногенного загрязнения вследствие выбросов комбината. Отмечено изменение структуры мезофилла листа на импактных участках 2–4 в сравнении с фоном: количество клеток в единице площади увеличивалось в среднем на 43% при уменьшении их объема на 16%, а объема хлоропластов – на 33%. Снижение отношения объем/площадь поверхности клеток ассимилирующей ткани могло приводить к увеличению поглощения  $CO_2$  в расчете на единицу их объема. Помимо этого, на участках 2–4 в листьях растений по сравнению с фоном увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов: суммы хлорофиллов – в среднем в 1,6 раз, каротиноидов – в 1,8 раза. Однако на участке 5, отличающемся наиболее высоким значением  $Si$ , таких структурных перестроек не наблюдалось. Более того, отмечено достоверное снижение содержания пигментов по сравнению с другими участками.

Таким образом, у растений *P. australis*, произрастающих в зоне деятельности медеплавильного комбината, происходили компенсаторно-приспособительные изменения на мезоструктурном уровне, направленные на поддержание активности фотосинтетической функции, которые зависели от степени техногенной нагрузки. Преимущественное накопление тяжелых металлов в подземных органах, а также способность данного гелофита адаптироваться к условиям экстремального загрязнения делают его перспективным для использования в таких фиторемедиационных технологиях, как фитостабилизация и ризофильтрация.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и ДНТ (проект № 19-516-45006) и Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 02.A03.21.0006).

### Список литературы

1. Тацкий Ю. Г. // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2012. № 12. С. 90–96.
2. Engloner A. I. // Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. 2009. Vol. 204(5). P. 331–346.
3. Kumari M., Tripathi B. D. // International Journal of Environmental Science and Technology. 2015. Vol. 12(3). P. 1029–1038.
4. Bezel V. S., Zhuikova T. V., Pozolotina V. N. // Russian Journal of Ecology. 1998. Vol. 29(5). P. 331–337.
5. Lichtenthaler H. K. // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. P. 350–382.